




Original document

GAS INLET FOR WAFER PROCESSING CHAMBER

Patent number: JP7193015
Publication date: 1995-07-28
Inventor: ROJIYAA ENU ANDAASON; EICHI PIITAA
DABURIYUU HEI; DEIBUITSUDO KEI KAARUSON;
MAHARINGAMU BUENKATESAN; NOOMA RIREI
Applicant: APPLIED MATERIALS INC
Classification:
- international: **C23C16/455; H01L21/00; C23C16/44; C23C16/455;
H01L21/00; C23C16/44; (IPC1-7): H01L21/205;
H01L21/22**
- european:
Application number: JP19940172897 19940725
Priority number(s): US19930099977 19930730

Also published as:

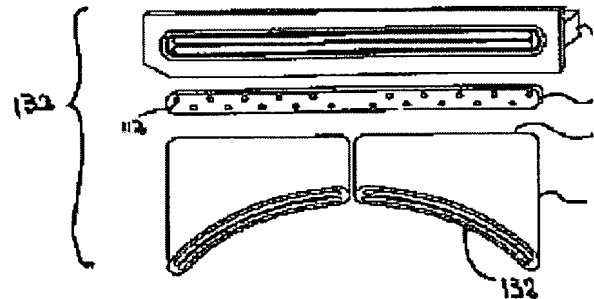
 EP0637058 (A)
 EP0637058 (E)
 DE694336561

[View INPADOC patent family](#)

[Report a data error](#)

Abstract of JP7193015

PURPOSE: To control dopant gas flow, independently of a processing gas by forming fluid paths which respectively open in an inside wall or around the inside wall to form a fluid mixing zone, such that the fluid moving along a fluid path does not mix with another fluid moving along another fluid path, before the fluid reaches the fluid-mixing zone. **CONSTITUTION:** A connector 102 and an interface 106 have upper and lower fluid paths formed therein. The upper and lower fluid paths have an elliptical cross section. A diffusion plate 104 includes upper and lower arrays of elliptical holes 112. As the plate 104 is positioned between a cap 102 and the interface 106, the upper and lower arrays of holes 112 respectively correspond to the upper and lower fluid paths. The diffusion plate 104 breaks gas flows in the respective upper and paths, and substantially forms layered flow in the interface 106.



Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

Description of corresponding document: **EP0637058**

This invention relates to semiconductor processing apparatus and, more particularly to a method and apparatus of supplying two different processing gases to a semiconductor wafer processing chamber

Present day equipment for the semiconductor industry is moving toward single substrate processing because processing chambers can be made smaller and processing can be better controlled. Further, modern semiconductor vacuum processing systems have been developed to carry out more than one processing step on a substrate without removing the substrate from a vacuum environment. The use of vacuum systems results in a reduced number of particulates that contaminate the surface of the wafer during processing, thereby improving the device yield.

A typical example of a modern CVD processing apparatus is shown in Fig. 1. In this figure a single substrate reactor 10 is shown to include a top 12, side walls 14 and a lower portion 16 that together constitute a chamber 18 into which a single substrate, such as a silicon wafer 20, can be loaded. The wafer 20 is mounted on a susceptor 22 that can be rotated by a drive 23 to provide a time averaged environment around the wafer 20 that is cylindrically symmetric.

A preheat ring 24 is supported in the chamber 18 and surrounds the susceptor 22. The wafer 20 and the preheat ring 24 are heated by light from a plurality of high intensity lamps, schematically indicated as 26, mounted outside of the reactor 10. The top 12 and lower portion 16 of the reactor 10 are typically made from clear quartz which is transparent to the light from lamps 26. Quartz is generally used to make up the top 12 and lower portion 16 because it is transparent to light of both visible and IR frequencies; it exhibits a relatively high structural strength; and because it is chemically stable in the process environment of the chamber.

During the deposition process, processing gas (whether reactant or dopant) is supplied to the interior of the chamber 18 from an exterior source, schematically represented by two tanks 28. The gas flows from the gas supply 28 along a gas supply line 30 and into the chamber 18 via a gas inlet port 32. From the port 32 the gas flows across the preheat ring 24 where it heats up, across the susceptor 22 and wafer 20 in the direction of the arrows 34 to be evacuated from the chamber 18 through evacuation port 36. The desired shape of the flow profile of the gases is laminar from the gas input port 32 and across the preheat ring 24 and the wafer 20 to the exhaust port 36 even though the rotation of the wafer 20 and thermal gradients caused by the heat from the lamps 26 do affect the flow profile slightly.

The above described CVD processing chamber can accommodate a number of different processes carried out in place. Each process differs depending on the desired end result and has different considerations associated therewith.

In the polysilicon deposition process, doped or undoped silicon layers are typically deposited onto the wafer using processes such as low pressure chemical vapor deposition (CVD). In this process a reaction gas mixture including a source of silicon (such as silane, disilane, dichlorosilane, trichlorosilane or silicon tetrachloride) and optionally a dopant gas (such as phosphine, arsine, or diborane) is heated and passed over the wafer to deposit a silicon film on its surface. In some instances a non-reactant, carrier gas such as hydrogen, is also injected into the processing chamber together with either or both of the reactant or dopant gases. In this process, the crystallographic nature of the deposited silicon depends upon the temperature of deposition. At low reaction temperatures, the deposited silicon is mostly amorphous; when higher deposition temperatures are employed, a mixture of amorphous silicon and polysilicon or polysilicon will be deposited.

One problem with the doped polysilicon deposition is that the temperature dependence of dopant incorporation is opposite to the temperature dependence of the polysilicon deposition rate. This is because

adjusting the temperature to obtain thickness uniformity in the polysilicon layer produces a non-uniform dopant incorporation. This is because the dopant gas has, in the past, been incorporated into the process gas before it is injected into the chamber. There is therefore no control of the dopant gas flow independent of the flow of the Silicon species processing gas.

In another process, the nitride deposition process, a stream of reactant gas, which is a mixture of ammonia (NH₃) and any one of the various silane species, is injected into the chamber. These two gases react at room temperature to produce small crystals. In the arrangement shown in Fig. 1 the gas storage 28 is shown to include two tanks, both of which feed into a single supply line 30. If these tanks contained ammonia and silane respectively, and the line 30 were at room temperature, this reaction would occur. Particles would form along the entire length of the supply line 30 and within the manifold 32. These particles are undesirable as they are a source of contamination in the chamber 18 and their existence therefore be eliminated.

In addition, it has been found that some reactant gases pass through the gap between the preheat ring and the susceptor 22. This causes deposition on the back side of the susceptor 22 and on some of the components in the lower portion of the chamber 18. Such deposition is both wasteful and undesirable and requires additional cleaning to remove.

Accordingly a need has arisen for a system of supplying reactant/dopant gases to a semiconductor processing chamber which overcomes these different problems.

Briefly this invention provides for a system for supplying processing fluid to a substrate processing apparatus having walls, the inner surfaces of which define a processing chamber in which a substrate supporting susceptor is located. The system consists of a number of fluid storages each which stores separate processing fluid; at least two fluid conduits along which processing fluid flows from the fluid storages to the processing apparatus; and a fluid inlet which connects the fluid conduits to the processing chamber. The inlet has a separate fluid passage, corresponding to each of the fluid conduits, formed in it. Each fluid passage opens at or near an inner surface of a wall to together define a fluid mixing zone in which fluid moving along one fluid passage is prevented from mixing with fluid moving along any other fluid passage until reaching the mixing zone.

Typically at least two of the fluid passages are vertically displaced from one another to, at least partially, define upper and lower fluid flow paths. The fluid inlet may include a mixing cavity formed at or near an inner surface of the wall so that the mixing zone is defined by the boundaries of the mixing cavity. The mixing cavity may be a generally vertical channel disposed between the upper and lower fluid flow paths.

Alternatively the chamber can be divided into an upper and a lower portion by the susceptor and the upper and lower fluid flow paths arranged respectively to open into the upper and lower portions of the chamber. In this arrangement the chamber typically includes a susceptor circumscribing preheat ring which defines an annulus between it and the susceptor. The lower fluid flow path would include the annulus and, in operation, processing fluid passing into the lower portion of the chamber will pass through this annulus and mix with processing fluid in the upper portion of the chamber.

The details and advantages of the present invention will no doubt become apparent to those skilled in the art after having read the following detailed description of the preferred embodiments which is illustrated in the several figures of the drawing.

In the accompanying drawing:

- Fig. 1 is a cross section of a prior art CVD semiconductor wafer processing chamber;
- Fig. 2 is a cross section through the gas inlet manifold of one embodiment of the invention;
- Fig. 3 is a plan view of a portion of a CVD processing chamber illustrating some of the components of the manifold of Fig. 2;
- Fig. 4 is a pictorial exploded view showing some of the components of the manifold of Fig. 2;

Figs. 5(a) to 5(e) are cross sections of alternative embodiments to the manifold illustrated in Fig. 2; Fig. 6 is a figure similar to that in Fig. 1 but showing schematically how gases can be supplied to the chamber to reduce back side wafer deposition; Fig. 7 is a plan view similar to that in Fig. 3 showing how the manifold can be divided to make allow for different types of gas supply; and Fig. 8 is a schematic flow diagram showing how different mixtures of gases can be regulated and supplied to an epitaxial deposition chamber.

Referring jointly to Figs. 2, 3 and 4, the improved gas inlet manifold, generally indicated as 100 of the invention can be seen. The manifold 100 is shown in Fig. 2 and 3 as connected to the side wall 14 (constituted by upper and lower clamp rings 40, 42 and a base ring 44) of a semiconductor processing apparatus 18.

In all three of these figures the manifold 100 is shown to include a connector cap 102, a diffuser plate 104 and an interface 106. The connector 102 and the interface 106 have upper and lower fluid passages 108, 110 formed therein. As is apparent from Fig. 4, these upper and lower fluid passageways are oblate in cross-section. The diffuser plate 104 on the other hand has an upper and a lower row of circular holes 112 formed therein. When the plate 104 is in position between the cap 102 and the interface 106, the upper and lower rows of holes 112 correspond respectively to the upper and lower fluid passages 108, 110. The function of these holes will be described further below.

The connector cap 102 is connected to a plurality of upper and lower gas conduits 114, 116. These conduits 114, 116 are, in turn, part of gas supply system (not shown) and serve to transport processing gases from a gas supply to the chamber 18. Along the inside wall of the chamber 18 a circular quartz ring 119 is disposed. In the vicinity of the manifold 100, the quartz ring has an upper gas and lower gas passageways 120, 122 formed therein. These upper and lower gas passageways 120, 122 are aligned to communicate directly with the gas passageways 108, 110 formed in the interface 106. In the body of the quartz ring the lower gas passageway 122 is connected to the upper gas passageway 120 by means of a vertically disposed slot 124 which, when viewed in plan, defines an arc.

In operation, processing gas is supplied to the manifold 100 by means of conduits 114, 116. These gases are kept separate and flow respectively along upper and lower conduits 108, 110. As the gases are supplied from individual gas pipes 114, 116 to the upper and lower conduits 108, 110, individual streams of gas each relating to one of the conduits 114, 116, occur in the connector cap 102.

These gases bank up against the up-stream side of the diffuser plate 104 and pass through the holes 112 formed therein. As a result of the diffuser plate, the gas streams respectively found in the upper and lower conduits 108, 110 are broken down and form a substantially laminar flow of gas in the interface 106. When the gas in the lower conduit 110 reaches the quartz ring 118 it moves along the lower gas path 122 and through the vertically disposed slot 124 to meet and mix with the gas in the upper conduit 108. At this point the gas has been heated to some extent by the quartz ring 118 which, in turn, has been heated by the lamps. As a result of this arrangement, the gas is preheated before mixing occurs and undesirable crystals do not form. This mixture of gas is then able to move in a substantially laminar pattern across the preheat ring 22 and the wafer 20 to be exhausted through the exhaust 36.

As can be seen from Figs. 3 and 4 the interface 106 has a flat upstream face 130 and a curved downstream face 132. This allows the interface 106 to provide a gas flow path between the flat faced connector cap 102 and diffuser plate 104 on the one hand and the circular quartz ring 119 on the other hand. In addition, Figs. 2 and 4 show that the diffuser plate 104 fits into a recess 134 formed in the connector cap 102. As a result of this configuration, the interface 106, which is typically made of quartz, abuts against both the diffuser plate 104 and the connector cap 102.

In Figs. 5a-5e different configurations of channels, generally indicated as 140 are shown formed in the quartz ring 119. These channels 140 all serve approximately the same function as the channels 120,

shown in Fig. 2 and these figures serve to illustrate a number of different configurations of channels can be used to allow the mixing of the gases to occur as close as possible to the interior face of the ring 118. Apart from the different configurations of the channels 140, all the other components shown in Figs. 5a-5e are identical to or similar to corresponding components illustrated in Figs. 2 through 4. Accordingly, they have been given like reference numerals.

The embodiments illustrated in these Figures 2 to 5 therefore provide a solution to the problem of gas reacting spontaneously in the supply conduits and inlet manifold in the nitride deposition process described above. It will be understood that the principles illustrated in these figures could be applied to processes other than the nitride deposition process.

A different embodiment of the invention is illustrated in Fig. 6. This figure shows a typical CVD deposition chamber generally indicated as 210. As with the prior art deposition chamber 10 indicated in Fig. 1, the apparatus includes a top 12, side walls 14 and lower portion 16 which together define a processing chamber 218. Inside the chamber 218 a semiconductor wafer 20 is supported on a susceptor 22. A susceptor circumscribing preheat ring 24 is also shown. Processing gases are input from different sources (not shown) into the chamber 218 by way of input manifold 232 and are exhausted from the chamber by means of exhaust port 36. For clarity the heater lamps and other components of the apparatus are not illustrated.

As is apparent from this figure the preheat ring 24 and the susceptor 22 divide the chamber 218 into upper and lower zone 218a and 218b respectively.

This embodiment of the invention can also be used to combat the undesirable reaction between ammonia and silicon species gases in the nitride deposition process. This can be done by injecting each gas from different source separately into one of the upper or lower portion of the chamber 218 respectively through the upper and lower passageways 232a and 232b. This means that the gases do not mix until they are fully mixed inside the chamber 218.

For example, the silicon species gas can be injected into the upper zone 218a whilst the ammonia gas can be input into the lower zone 218b. If the ammonia input into the lower zone 218b is at a slightly higher pressure than the silicon species gas input into the upper zone 218a, the ammonia gas will flow in the direction indicated by arrows 222) from the lower zone to the upper zone by way of the slit between the preheat ring 24 and the susceptor 22 in the direction of the arrows 220. Thus both the ammonia gas and silicon gas are heated within the chamber before they come into contact with one another. Furthermore, mixing of the gases occurs at or close to the wafer and unwanted particle formation is reduced.

This configuration also has the advantage that the gas moving through the slit between the preheat ring 24 and the susceptor 22 prevents gases from moving from the upper zone 218a to the lower zone 218b. This restricts the amount of deposition that occurs on the back side of the susceptor 22 and the other components within the lower zone 218b of the processing apparatus 210. It is important to restrict deposition on the back side of the susceptor as it may adversely affect temperature measurements (usually done by means of an external pyrometer) which, in turn, will adversely affect processing of the wafer. Deposition on the other components in the lower zone 218b is undesirable as it could lead to particle generation if not removed. In addition, wafer transfer occurs in this lower zone 218b and substantial particle generation could adversely affect the moving parts in this zone.

This embodiment of the invention also has the advantage that it can be used to reduce the problem (as described above) associated with doped polysilicon deposition. As will be recalled, the temperature dependence of dopant incorporation is opposite to the temperature dependence of the polysilicon deposition rate. This embodiment provides the flexibility of inputting the dopant gas into the lower zone 218b and being able to independently control its flow. Therefore an additional and independent source of control over dopant incorporation can be achieved.

The embodiment of Figure 6 can be used in conjunction with a further system of improving the control

different types of gases flowing into to the processing chamber as illustrated in Figs. 7 and 8. These show only the interfacing connector 306, portions of the processing apparatus, the wafer 20, susceptor 22, preheat ring 24 and gas outlet port 36. Figure 7 shows only the portion of the gas inlet manifold 332 which supplies the gas to the upper zone of the processing chamber and Figure 8 schematically represents a control system.

The interfacing connector 306 is shown to be constituted by a central zone 308 and an outside zone 310. According to this embodiment of the invention and as further illustrated in Fig. 8, the composition of the gas which flows into the central zone 308 can be controlled independently of the composition of the gas which flows into the outside zones 310. In addition, the flow rate of the gas to either of the two halves 308a, 308b of the central zone can further be controlled independently from one another. This provides degrees of control for the gas flow system for the purpose of controlling the composition of any layer deposited on the semiconductor wafer 20. In addition, the chamber heating system provides the third control variable (i.e., temperature). As in the past, the susceptor 22 can be rotated to improve the uniformity of the deposition on the wafer 20.

Turning now to the diagram in Fig. 8, it can be seen that a gas containing silicon, together with a hydrogen carrier gas are fed to the chamber 318 from containers 302, 304 by means of independent mass flow controllers 303, 305. This gas mixture flows through two bellows metering valves 311, 312 which operate as variable restrictors and apportion the main flow of silicon bearing gas between the center and outer zones 308, 310 respectively. In addition, a gas which is a dopant source (such as diborane diluted in hydrogen) is fed from storage 314 into two different mass flow controllers 316, 320 and then metered into the silicon source downstream of the bellows metering valves 311, 312.

As a result of this configuration, separate control of the dopant gas concentration flowing into the center zone and the outer zone 308, 310 respectively can be achieved.

Although the present invention has been described above in terms of specific embodiments, it is anticipated that alterations and modifications thereof will no doubt become apparent to those skilled in the art. It is therefore intended that the following claims be interpreted as covering all such alterations and modifications as fall within the true spirit and scope of the invention.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

Claims of corresponding document: **EP0637058**

1. A system for supplying processing fluid to a substrate processing apparatus having walls, the inner surfaces of which define a processing chamber in which a substrate supporting susceptor is located, the system comprising:

- (a) a plurality of fluid storages each for storing a separate processing fluid;
- (b) at least two fluid conduits for transporting processing fluid from the fluid storages to the processing apparatus; and
- (c) a fluid inlet, disposed between the fluid conduits and the processing chamber, and including at least two separate fluid passages, one connected to each of the at least two fluid conduits, each opening at or near the inner surface of a wall to define a fluid mixing zone, whereby fluid moving along one fluid passage is prevented from mixing with fluid moving along any other passage until reaching the mixing zone.

2. A system for supplying processing fluid as recited in claim 1, wherein at least two of the fluid passages are vertically displaced from one another to, at least partially, define upper and lower fluid flow paths.

3. A system for supplying processing fluid as recited in claim 2, wherein the fluid inlet includes a mixing zone.

cavity formed at or near the inner surface of the wall and wherein the mixing zone is defined by the boundaries of the mixing cavity.

4. A system for supplying processing fluid as recited in claim 3, wherein the mixing cavity is a general vertical channel disposed between the upper and lower fluid flow paths.

5. A system for supplying processing fluid as recited in any of claims 2 to 4, wherein the fluid inlet further includes a connector for connecting the fluid conduits to the processing apparatus and an interface wall in operation, is located between the connector and the chamber.

6. A system for supplying processing fluid as recited in claim 5, wherein the fluid inlet further comprises a diffuser plate which, in use, is located between the connector and the interface wall, the diffuser plate having a plurality of groups of apertures formed therein, each group of apertures being arranged to correspond to a fluid passage.

7. A system for supplying processing fluid as recited in any of claims 2 to 6, wherein the chamber is divided into an upper and a lower portion by the susceptor, and wherein the upper and lower fluid flow paths are arranged respectively to open into the upper and lower portions of the chamber.

8. A system for supplying processing fluid as recited in claim 7, wherein the chamber includes a susceptor ring circumscribing the chamber which defines an annulus between itself and the susceptor and wherein the lower fluid flow path includes the annulus, whereby processing fluid passing into the lower portion of the chamber is able to pass through this annulus to mix with processing fluid in the upper portion of the chamber.

9. A system for supplying a mixture of processing fluid to a substrate processing apparatus having walls, the inner surfaces of which define a processing chamber in which a substrate supporting susceptor is located, the system comprising:

- (a) a reactant fluid storage for storing a reactant fluid therein;
- (b) a dopant fluid storage for storing a dopant fluid therein;
- (c) at least two reactant fluid conduits for transporting reactant fluid from the reactant fluid storage to the processing apparatus;
- (d) at least two dopant fluid conduits for transporting dopant fluid from the dopant fluid storage to the processing apparatus;
- (e) a fluid inlet, disposed between the fluid conduits and the processing chamber, and including at least one first and a second fluid passage, each in communication with at least one dopant and at least one reactant fluid conduit; and
- (f) a fluid control system for controlling the flows of reactant and dopant fluids to the fluid inlet, wherein the flow of reactant and dopant fluids to a single fluid passage can be controlled independently of each other.

10. A system for supplying a mixture of processing fluid to a substrate processing apparatus as recited in claim 9, wherein the flow of reactant and dopant fluids to one fluid passage can be controlled independently of the flow of reactant and dopant fluid to any other fluid passage.

11. A system for supplying a mixture of processing fluid to a substrate processing apparatus as recited in claim 9 or claim 10, wherein each fluid passage opens at or near an inner surface of a wall to define a mixing zone, whereby fluid moving along one fluid passage is prevented from mixing with fluid moving along any other passage until reaching the mixing zone.

12. A system for supplying processing fluid as recited in any of claims 9 to 11, wherein the chamber is divided into an upper and a lower portion by the susceptor, and wherein the at least one fluid passage is arranged to open into the upper portion and at least one passage is arranged to open into the lower portion of the chamber.

13. A system for supplying processing fluid as recited in claim 12, wherein the chamber includes a susceptor circumscribing ring which defines an annulus between itself and the susceptor, whereby processing fluid passing into the lower portion of the chamber is able to pass through the annulus to with processing fluid in the upper portion of the chamber.

14. A method for supplying processing fluid to a substrate processing apparatus having walls, the inn surfaces of which define a processing chamber in which a substrate supporting susceptor is located, method comprising the steps of:

- (a) separately transporting processing fluid from at least a first and a second independent fluid storage the processing apparatus; and
- (b) providing a fluid inlet through which processing fluid can flow into the processing chamber, the including at least a first and a second separate fluid passage, each opening at or near an inner surface wall;
- (c) causing fluid from the first fluid storage to flow through the first fluid passage and fluid from the second fluid storage to flow through the second fluid passage, whereby mixing of the fluid from the and second fluid storages is prevented during passage along the passage; and
- (d) allowing fluid flowing through the first fluid passage to mix with fluid flowing along the second passage in a region at or close to the inner surface of a wall of the processing apparatus.

15. A method of supplying processing fluid as recited in claim 14, further comprising the step of cau the fluid flowing along the first passage to reach the mixing region at a point vertically displaced fro point at which fluid flowing along the second fluid passage reaches the mixing zone whereby upper lower fluid flow paths are defined.

16. A method of supplying processing fluid as recited in claim 14 or claim 15, wherein the chamber divided into an upper and a lower portion by the susceptor, further comprising the step of arranging upper and lower fluid flow paths respectively to open into the upper and lower portions of the chambl

17. A method of supplying processing fluid as recited in claim 16, wherein the chamber includes a susceptor circumscribing ring which defines an annulus between itself and the susceptor, the method further comprising the step of causing processing fluid to pass from the lower portion of the chambe through the annulus to mix with processing fluid in the upper portion of the chamber.

18. A method of supplying a mixture of processing fluid to a substrate processing apparatus as recite any of claims 14 to 17, further comprising the step of raising the temperature of the processing fluid passes along the passages.

19. A method of supplying a mixture of processing fluid to a substrate processing apparatus walls, th surfaces of which define a processing chamber in which a substrate supporting susceptor is located, method comprising the steps of:

- (a) providing a reactant fluid storage for storing a reactant fluid therein;
- (b) providing a dopant fluid storage for storing a dopant fluid therein;
- (c) providing at least two reactant fluid conduits for transporting reactant fluid from the reactant fluid storage to the processing apparatus;
- (d) providing at least two dopant fluid conduits for transporting dopant fluid from the dopant fluid st to the processing apparatus;
- (e) disposing a fluid inlet between the fluid conduits and the processing chamber, the inlet including least a first and a second fluid passage, each being in communication with at least one dopant and at one reactant fluid conduit; and
- (f) controlling the flow of reactant fluid to one fluid passage independently of the flow of dopant fluid that passage.

20. A method for supplying a mixture of processing fluid to a substrate processing apparatus as recit claim 19, further comprising the step of controlling the flow of reactant and dopant fluids to one fluid passage independently of the flow of reactant and dopant fluid to any other fluid passage.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-193015

(43)公開日 平成7年(1995)7月28日

(51)IntCl.⁶

H 0 1 L 21/205

21/22

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

5 1 1 S

審査請求 未請求 請求項の数20 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平6-172897

(22)出願日 平成6年(1994)7月25日

(31)優先権主張番号 08/099977

(32)優先日 1993年7月30日

(33)優先権主張国 米国 (U S)

(71)出願人 390040660

アプライド マテリアルズ インコーポレ
イテッド

APPLIED MATERIALS, I
NCORPORATED

アメリカ合衆国 カリフォルニア州
95054 サンタ クララ パウアーズ ア
ベニュー 3050

(72)発明者 ロジャー エヌ. アンダーソン

アメリカ合衆国, カリフォルニア州
95124, サン ノゼ, ネストリタ ウ
エイ 1824

(74)代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

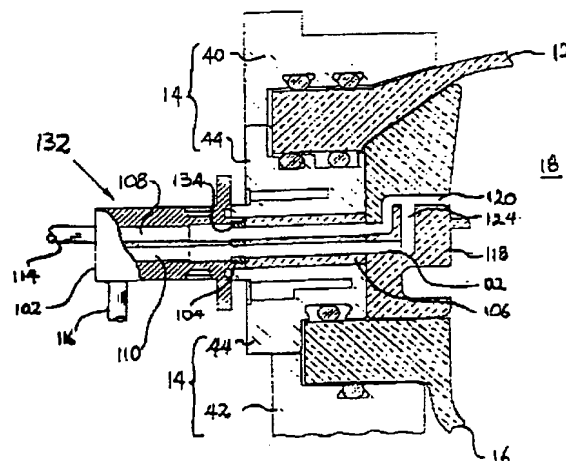
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ウェハ処理チャンバ用ガス入口

(57)【要約】 (修正有)

【目的】 1つの流体通路に沿って移動する流体が混合領域に到達するまで他の通路に沿って移動する流体と混合しないように防止する。

【構成】 基板処理チャンバ(18)に処理流体を供給する装置で、別個の処理流体を貯蔵する多数の流体ストレージ、処理流体が流体ストレージから処理装置に流れる少なくとも2つの流体管路、及び流体管路を処理チャンバに接続する流体入口から成る。入口は別個の流体通路を有し、それに沿って形成された流体管路の各々に対応する。各流体通路はチャンバ壁の内壁であるいはその付近で混合ゾーンの中に開いているので、1つの流体通路に沿って移動する流体は混合ゾーンに到達するまで別の通路に沿って移動する流体と混合しないように防止する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 壁を有し、基板支持サセプタが配置されている処理チャンバを当該内壁が画成している基板処理装置に処理流体を供給する装置であって、(a) 別個の処理流体を各々貯蔵する複数の流体ストレージ、(b) 処理流体を流体ストレージから処理装置に輸送する少なくとも2つの流体管路、及び(c) 流体管路と処理チャンバとの間に配置され、少なくとも2つの別個の流体通路を含み、1つが少なくとも2つの流体管路の各々に接続され、各々が壁の内壁であるいはその付近で開いて流体混合領域を形成し、もって、1つの流体通路に沿って移動する流体が混合領域に到達するまで他の通路に沿って移動する流体と混合しないように防止する流体入口、とを備えるシステム。

【請求項2】 少なくとも2つの上記流体通路が相互に垂直にずれ、少なくとも部分的に上下流体流路を形成する請求項1記載のシステム。

【請求項3】 上記流体入口が、上記壁の上記内壁で或いはその付近で形成されたキャビティを含み、かつ混合領域が混合キャビティの境界で画成される請求項2記載のシステム。

【請求項4】 上記混合キャビティが、上下流体流路の間に配置された概略垂直なチャネルである請求項3記載のシステム。

【請求項5】 上記流体入口が、流体管路を処理装置に接続するコネクタ及び作動中に上記コネクタと上記チャンバとの間に位置するインターフェースを更に含む請求項2記載のシステム。

【請求項6】 上記流体入口が、使用中に上記コネクタと上記インターフェースとの間に位置する拡散プレートを含み、この拡散プレートがこの中に形成された複数の穴を有し、各々の穴が流体通路に対応して配置される請求項5記載のシステム。

【請求項7】 上記チャンバが、上記サセプタで上下部に分けられ、上記上下流体流路がチャンバの上下部に通じているように各々配置される請求項2記載のシステム。

【請求項8】 上記チャンバが、サセプタ外接リング(susceptor circumscribing ring)を含み、それ自体と上記サセプタとの間に環を画成し、下部の流体流路が環を含み、それによりチャンバの下の部分に移る処理流体が上記環を通過して上記チャンバの上部で処理流体と混合する請求項7記載のシステム。

【請求項9】 壁を有し、基板支持サセプタが配置されている処理チャンバを上記内壁が画成している基板処理装置に処理流体の混合物を供給するシステムであって、

(a) 反応性流体を貯蔵する反応性流体ストレージ、
(b) ドーバント流体を貯蔵するドーバント流体ストレージ、
(c) 反応性流体を反応性流体ストレージから処理装置に輸送する少なくとも2つの反応性流体管路、

(d) ドーバント流体をドーバント流体ストレージから処理装置に輸送する少なくとも2つのドーバント流体管路、
(e) 流体管路と処理チャンバとの間に配置され、少なくとも第1及び第2流体通路を含み、各々が少なくとも1つのドーバント流体管路及び少なくとも1つの反応性流体管路と通じている流体入口、及び(f) 反応性流体及びドーバント流体の流れを制御する流体制御装置であって、それにより反応性流体とドーバント流体の単一流体通路への流れを相互に独立して制御することができるもの、とを備えるシステム。

【請求項10】 反応性流体とドーバント流体の1流体通路への流れを反応性流体とドーバント流体の他の流体通路への流れと独立して制御することができる請求項9記載のシステム。

【請求項11】 各流体通路が壁の内壁であるいはその付近で開いて流体混合領域を形成し、もって、1つの流体通路に沿って移動する流体が混合領域に到達するまで他の通路に沿って移動する流体と混合しないように防止する請求項10記載のシステム。

【請求項12】 上記チャンバが上記サセプタで上下部分に分けられ、少なくとも1つの流体通路が上の部分に開いているように配置され、少なくとも1つの通路が下の部分に開いているように配置される請求項10記載のシステム。

【請求項13】 上記チャンバがサセプタ外接リングを含み、それ自体と上記サセプタとの間に環を形成し、それによりチャンバの下の部分に移る処理流体がこの環を通過してチャンバの上の部分で処理流体と混合する請求項12記載のシステム。

【請求項14】 壁を有し、基板支持サセプタが配置されている処理チャンバを当該内壁が画成している基板処理装置に処理流体を供給する方法であって、(a) 処理流体を独立した第1及び第2流体ストレージから処理装置に別個に輸送する工程、(b) 処理流体が処理チャンバに流れる流体入口を設け、その入口が少なくとも第1及び第2の別個の流体通路を含み、各々が壁の内壁であるいはその付近で開く工程、(c) 第1流体ストレージからの流体を第1流体通路に流しかつ第2流体ストレージからの流体を第2流体通路に流し、それにより第1及び第2流体ストレージからの流体の混合が通路に沿って通過する間防止される工程、(d) 流体を第1流体通路に流して第2流体通路に沿って流れている流体と処理装置の壁の内壁の領域であるいはその付近の領域で混合することができる工程、を備えて構成される方法。

【請求項15】 上記第2通路に沿って流れている流体が上記混合ゾーンに到達する点から垂直にずれた点の混合領域に第1通路に沿って流れている流体が到達し、それにより上下流体流路が画成される工程を更に含む請求項14記載の方法。

【請求項16】 上記チャンバが上記サセプタにより上

下部分に分けられ、チャンバの上下部分に開いているように各々上下流体流路を配置する工程をさらに含む請求項15記載の方法。

【請求項17】 上記チャンバが、サセプタ外接リングを含みそれ自体とサセプタとの間に環を形成し、処理流体がこの環を通過して上記チャンバの下部に移ってチャンバの上の部分で処理流体と混合する工程を更に含む請求項16記載の方法。

【請求項18】 通路に沿って通る処理流体の温度を上昇させる工程を更に含む請求項14記載の方法。

【請求項19】 壁を有し、基板支持サセプタが配置されている処理チャンバを当該内壁が画成している基板処理装置に処理流体の混合物を供給する方法であって、

(a) 反応性流体を貯蔵する反応性流体ストレージを設ける工程、(b) ドーパント流体を貯蔵するドーパント流体ストレージを設ける工程、(c) 反応性流体を反応性流体ストレージから処理装置に輸送する少なくとも2つの反応性流体管路を設ける工程、(d) ドーパント流体をドーパント流体ストレージから処理装置に輸送する少なくとも2つのドーパント流体管路を設ける工程、

(e) 流体管路と処理チャンバとの間に流体入口を配置し、その入口が少なくとも第1及び第2流体通路を含み、各々が少なくとも1つのドーパント流体管路及び少なくとも1つの反応性流体管路と通じる工程、(f) 反応性流体の流体通路への流れをドーパント流体のその通路への流れと独立して制御する工程、とを備えて構成される方法。

【請求項20】 反応性流体及びドーパント流体の1流体通路への流れを反応性流体及びドーパント流体の別の流体通路への流れと独立して制御する工程を更に含む請求項19記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、半導体処理装置に関し、更に詳細には、2種類の処理ガスを半導体ウェハ処理チャンバに供給する方法及び装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 今日の半導体産業の設備は、処理チャンバを小型にすることができかつ処理をより制御することができることから、単一式或いは枚葉式基板処理に移行してきている。更に、基板を真空環境から取り出さずに基板に1処理工程以上(の工程)を行う新しい半導体真空処理装置が開発されてきた。そのような真空装置を使用すると、処理中ウェハ表面を汚染する多くの微粒子が減少し、そのことにより生産効率が改善される。

【0003】 従来のCVD処理装置の代表例を図1に示す。この図面においては、シリコンウェハ20のような一枚の基板を載置することができるチャンバ18を共に画成している上部12、側壁部14及び底部16を含む単一式或いは枚葉式基板反応室10が示されている。ウ

ェハ20がサセプタ22上に取り付けられ、ドライブ23が回転して円筒状に対称のウェハ20用時間均一環境を与えることができる。

【0004】 予熱リング24がチャンバ18内に支持され、サセプタを取り囲んでいる。ウェハ20及び予熱リング24は、反応室の外に取り付けられた26として模式的に示された複数の強力なランプの光で加熱される。反応室10の上部12及び底部16は、通常、ランプ26の光に対し透過性の透明石英でできている。石英は、一般に、可視及びIR両周波数の光に透明であり、構造強度が比較的高くかつチャンバのプロセス環境に化学的に安定であるために、上部12及び底部16を形成するために用いられる。

【0005】 堆積プロセスでは、処理ガス(反応性ガス又はドーパントガス)が2つのタンク28で模式的に表されている外部原料からチャンバ18の内部に供給される。ガスは、ガス供給タンク28からガス供給ライン30に沿って流れ、ガス入口32を介してチャンバ18に入る。ガスは、入口32から、それが加熱される予熱リング24を横切り、サセプタ22及びウェハ20を横切り、チャンバ18から排気口36に排気されるべき矢印の方向に流れる。ガスの主な流量プロファイルは、ガス入口32が予熱リング24及びウェハ20を横切り、排気口36に至るまで、ウェハ20の回転とランプ26の熱による熱勾配が流れの形状にわずかに影響するとしても層流である。

【0006】 上記のCVD処理チャンバは適応させることができ、異なった多くの処理が行われる。各処理は所望の最終結果によって異なり、それに伴って種々の問題がある。

【0007】 多結晶シリコン堆積工程においては、通常、減圧化学気相成長(CVD)のような処理を用いてドーパされた又はドーパされないシリコン層がウェハに堆積される。このプロセスにおいては、シリコン源(例えば、シリコン、ジシラン、ジクロロシラン、トリクロロシラン又は四塩化シリコン)のような反応性混合ガス及び場合によってはドーパントガス(例えばホスフィン、アルシン又はジボラン)を加熱し、ウェハ上を通過させてその表面にシリコン膜を堆積させる。ある場合には、水素のような非反応性キャリアガスが反応性又はドーパントガスのいずれかあるいは双方と共に処理チャンバに注入される。この処理においては、堆積したシリコンの結晶学的種類は、堆積温度に左右される。低い反応温度で堆積したシリコンはほとんどが単結晶であり、高い堆積温度が用いられる場合は単結晶シリコンと多結晶シリコンとの混合又は多結晶シリコン単独が堆積される。

【0008】 ドーパされた多結晶シリコン堆積による1つの課題は、ドーパント混入の温度依存性が多結晶シリコン堆積速度の温度依存性と相反することである。これ

5

は、多結晶シリコン層において厚さの均一性を得るために温度を調節すると一様でないドーパント混入を生じるためである。これは、過去においてはドーパントガスがチャンバに注入される前に処理ガスに混合されていたためである。従って、シリコン化学種の処理ガスの流れと独立してドーパントガス流れが制御されていない。

【0009】別の処理、窒化物堆積工程においては、アンモニア (NH_3) と種々のシラン化学種の1種との混合がチャンバに注入される。これら2種類のガスは、室温で反応して小さな結晶を生じる。図1に示されている配置においては、ガスストレージ28は2つのタンクを含むように記載されており、その両方が1つの供給ライン30に供給される。これらのタンクが各々アンモニアとシランを含有しかつライン30が室温であった場合には、この反応が起こり、粒子が供給ライン30の全長に沿って及びマニホール32内に生じる。これらの粒子は、チャンバ18の汚染源であるので好ましくなく、従ってその存在は除去されねばならない。

【0010】更に、反応性ガスが予熱リング24とサセプタ22との間の隙間を通過することがわかった。これにより、サセプタ22の裏面及びチャンバ18の下部分の他の構成部分に堆積する。このような堆積は共に不経済であり、除去のために更に洗浄を必要とするので好ましくない。

【0011】従って、これらの種々の課題を克服する反応性ガス/ドーパントガスを半導体処理チャンバに供給する装置が求められている。

【0012】

【課題を解決するための手段および作用】簡単に述べると、本発明は、壁を有しその内壁が基板支持サセプタが配置されている処理チャンバを画成している基板処理装置に処理流体を供給するシステムを提供するものである。このシステムは、別個の処理流体を各々貯蔵する多数の流体ストレージ、処理流体が流体ストレージから処理装置に流れる少なくとも2つの流体管路、及び流体管路を処理チャンバに接続する流体入口からなる。入口は、それに沿って形成された別個の流体通路を有し、流体管路の各々に対応している。各流体通路は、壁の内壁あるいはその付近で開いて共に流体混合ゾーンを形成するので、1つの流体通路に沿って移動する流体が混合領域に到達するまで他の通路に沿って移動する流体と混合しないように防止する。

【0013】通常、少なくとも2つの流体通路は、相互に垂直にずれて少なくとも部分的に上下流体流路を画成している。流体入口には壁の内壁にあるいはその付近に形成された混合キャビティがあるので、混合領域が混合キャビティの境界により規定される。混合キャビティは、上下流体流路間に配置された概略垂直なチャンネルであつてもよい。

【0014】また、チャンバはサセプタで上下部分に分

6

けられ、上下流体流路はチャンバの上下部分に各々開くように配置される。本配置においては、チャンバは、通常、サセプタ外接リングを含み、それ自体とサセプタとの間に環を形成する。下の流体流路が環を含み、作動中にチャンバの下部に移る処理流体がこの環を通過してチャンバの上の部分で処理流体と混合する。

【0015】

【実施例】図2、3及び4について共に言及すると、本発明の通常100として示される改良ガス入口マニホール100が示されている。半導体処理装置18の側壁14（上下クランプリング40、42及びベースリング44で構成される）に接続されるマニホール100は、図2及び3に示されている。

【0016】3種のこれらの図すべてにおいて、マニホール100は、コネクタキャップ102、拡散プレート104及びインターフェース106を含めて示されている。コネクタ102及びインターフェース106は、その中に形成された上下流体通路108、110を有する。図4から明らかなように、これらの上下流体通路は、断面が扁平(oblake)である。一方の拡散プレート104は、その中に形成された円形の穴112の上下列を有する。プレート104がキャップ102とインターフェース106との間の位置にあると、穴112の上下列は上下流体通路108、110に各々対応する。これらの穴の機能は、後に記載される。

【0017】コネクタキャップ102は、複数の上下ガス管路114、116に接続される。これらの管路114、116は、ガス供給システム（図示せず）の一部であり、処理ガスをガス供給タンクからチャンバ18に輸送するために働く。チャンバ18の内壁に沿って、円形の石英リング118が配置される。マニホール100の付近に、石英リングはその中に形成された上下ガス通路120、122を有する。これらの上下ガス通路120、122は、一列に並び、インターフェース106の中に形成されたガス通路108、110と直接通じている。石英リングの本体には、下のガス通路122が上のガス通路120に垂直に配置された平面で見た場合、弧を形成するスロット124によって接続される。

【0018】作動中、処理ガスはマニホール100に管路114、116によって供給される。これらのガスは別々に維持され、各々上下管路108、110に沿って流れる。ガスが個々のガスパイプ114、116から上下管路108、110に供給されるので、個々のガス流は、各々が管路114、116の1つに関係し、コネクタキャップ102の中にある。

【0019】これらのガスは、拡散プレート104の上流側に向かって上がり(bank up)、その中に形成された穴112を通過する。拡散プレートの結果として、上下管路108、110に各々見られたガス流は破壊され、インターフェース106の中で実質的にガスの層流を形

7

成する。下の管路110のガスが石英リング118に到達すると、下のガス通路122及び垂直に配置されたスロット124に沿って移動して上の管路108でそのガスと交わり混合する。この時点で、ランプで加熱されている石英リング118によってある程度まで加熱されている。この配置の結果として、混合が起こる前にガスが予熱され、好ましくない結晶が生じない。次いでこの混合ガスは、予熱リング24、サセプタ22及びウェハ20を横切り、実質的に層流パターンで移動して排気口36を通して排気することができる。

【0020】図3及び4から分かるように、インターフェース106は平らな上流面130及びカーブした下流面132を有する。これにより、インターフェース106は平らな面のコネクタキャップ102と一方では拡散プレート104ともう一方では円形の石英リング118との間にガス流路面を設けることができる。更に、図2及び4は、拡散プレート104がコネクタキャップ102内に形成された溝134に適合することを示している。この配置の結果として、通常、石英で形成されたインターフェース106は拡散プレート104及びコネクタキャップ102の双方に接している。

【0021】図5(a)～5(e)においては、石英リング118内に形成された通常140として示される種々の配置のチャンネルが示されている。これらのチャンネル140は、すべて図2に示されているチャンネル120、122とほぼ同様に機能し、これらの図はガスが石英リング118の内部面のできるだけ近くで混合するように用いられる多数の異なった配置のチャンネルを示すものである。種々の配置のチャンネル140とは別に、図5(a)～5(e)に示されている他の構成部分は全て図2～4に示された対応する構成部分と同一あるいは類似のものである。従って、同一符号が付けられている。

【0022】従って、これらの図2～5で示されている実施例は、上記窒化物堆積工程において供給管路と入口マニホールドの中で自然に反応するガスの課題を解決するものである。これらの図に示された原理は、窒化物堆積工程以外の工程に適用し得ることは理解されるであろう。

【0023】本発明の別の実施例が図6に示される。この図は、通常210として示される典型的なCVD堆積チャンバを示すものである。図1に示されている従来技術の成長室のように、この装置は上部12、側壁部14及び底部16を含み、これらは共に処理チャンバ218を画成している。チャンバ218内部では半導体ウェハ20がサセプタ22上で支持される。サセプタ外接予熱リング24も示されている。処理ガスは、種々の供給源(図示せず)から導入マニホールド232によってチャンバ内に導入され、排気口36によってチャンバから排気される。明瞭にするために、ヒータランプ及び装置の他の構成部分は示されていない。

8

【0024】この図から明らかなように、予熱リング24及びサセプタ22は、チャンバ218を各々上下ゾーン218a及び218bに分けている。

【0025】本発明の実施例は、窒化物堆積工程においてアンモニアとシリコン化学種ガスとの間の好ましくない反応を排除するために用いることもできる。これは、各々のガスを種々の供給源から別個にチャンバ218の上下部分の1つに各々上下通路232a及び232bを介して注入することにより行われる。これは、ガスがチャンバ218内に充分になるまで混合しないことを意味している。

【0026】例えば、シリコン化学種ガスが上のゾーン218aに注入されるとともにアンモニア系ガスが下のゾーン218bに導入される。下のゾーン218bへのアンモニア導入が上のゾーン218aへのシリコン化学種ガス導入よりわずかに高い圧力である場合には、アンモニアガスは予熱リング24とサセプタ22との間のスリットによって矢印220の方向に下のゾーンから上のゾーンに流れる(矢印222で示される方向に)。即ち、アンモニアガスとシリコンガスの双方がチャンバ内で加熱された後、相互に接触する。更に、ガスの混合がウェハであるいはそれに近接して起こり、望まれていない粒子形成が減少する。

【0027】この配置(configuration)は、また、予熱リング24とサセプタ22との間のスリットを通して移動するガスが上のゾーン218aから下のゾーン218bへガスが移動しないように防止する利点もある。これは、サセプタ22の裏側及び処理装置210の下のゾーン218b内の他の構成部分で生じる堆積量を制限する。温度測定(通常外部高温計によって行われる)に悪影響を及ぼしたウェハ20の処理に悪影響を及ぼすサセプタの裏側の堆積を制限することは重要である。下のゾーン218b内の他の構成部分に堆積すると、除去されない場合には粒子の発生を招くので好ましくない。更に、ウェハ移動はこの下のゾーン218b内で起こり、実質的な粒子発生はこのゾーン内の移動部分に悪影響を及ぼす。

【0028】本発明の実施例は、また、ドーパされた多結晶シリコン堆積に伴う課題(上述した)を減少させるために用いることができる利点がある。再び述べられるように、ドーパント混入の温度依存性は多結晶シリコン堆積速度の温度依存性と相反する。本実施例は、下のゾーン218bにドーパントガスを導入しかつその流れを独立して制御することができる適応性を示すものである。従って、ドーパント混入を用いた追加及び独立した制御が達成される。

【0029】図6の実施例は、更に図7及び8に示される処理チャンバに流し込む異なった種類のガスの制御を改善するシステムと共に用いられる。これらの図は、インターフェイスコネクタ306、処理装置の一部、

9

ウェハ20、サセプタ22、予熱リング24及びガス出口36のみ示している。図7はガスを処理チャンバの上のゾーンに供給するガス入口の部分のみ示すものであり、図8はガス制御システムの概略図である。

【0030】インターフェイスコネクタ306は、中央ゾーン308及び外部ゾーン310で構成されるように示されている。本発明の実施例に従って、更に図8に示されるように、中央ゾーン308に流し込まれるガスの組成は、外部ゾーン310に流し込まれるガスの組成と独立して制御される。更に、中央ゾーンの2つのバルブ308a、308bのいずれかへのガスの流速も相互に独立して制御される。これにより、半導体ウェハ20に堆積される層の組成を制御する目的の場合ガス流装置は2段階の制御がなされる。更に、チャンバ加熱装置により、第3の可変制御が与えられる（即ち温度）。従来のように、サセプタ22はウェハ20の堆積の均一性を改善するために回転される。

【0031】ここで図8によると、シリコン含有ガス及び水素キャリアガスは容器302、304からチャンバ318に独立したマスフローコントローラ303、305によって供給される。この混合ガスは2つのベロー調整バルブ311、312を介して流れ、これらは可変レストリクターとして作動しかつシリコン含有ガスの主流の流れを各々中央ゾーン及び外部ゾーン308、310の間に分配する。更に、ドーパント源であるガス（例えば水素で希釈されたジボラン）はストレージ314から2種類のマスフローコントローラ316、320に供給され、次いでベロー調整バルブ311、312の下流のシリコン源に調整される。これらの配置の結果として、中央ゾーン及び外部ゾーン308、310に各々流れ込むドーパントガス濃度を別個に制御することができる。

【0032】

【発明の効果】本発明によると、流体通路は、壁の内壁あるいはその付近で開いて共に流体混合ゾーンを形成するので、1つの流体通路に沿って移動する流体が混合領域に到達するまで他の通路に沿って移動する流体と混合しないように防止する。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来技術のCVD半導体ウェハ処理チャンバの断面図。

【図2】本発明の実施例のガス入口マニホールドの断面図。

【図3】図2のマニホールドの構成部分を示すCVD処理チャンバの一部の平面図。

10 【図4】図2のマニホールドの構成部分を示す分解図。

【図5】図2に示されたマニホールドに対する別の実施例の断面図。

【図6】図1と同様の図であるが、ウェハの裏面堆積を減少するようにガスがチャンバに供給されることを模式的に示す図。

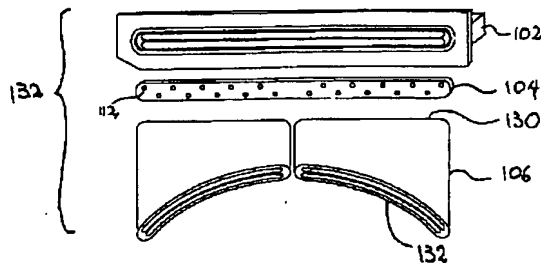
【図7】異なった種類のガス供給を許容するようにマニホールドが分けられることを示す図3と同様の平面図。

【図8】種々の混合ガスが調整され、エピタキシャル堆積チャンバに供給されることを示す概略図。

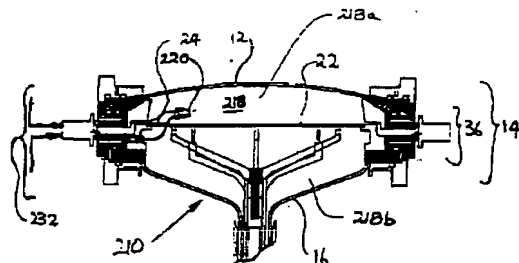
20 【符号の説明】

10…反応室、12…上部、14…側壁部、16…底部、18…チャンバ、20…ウェハ、22…サセプタ、23…ドライブ、24…予熱リング、26…ランプ、28…ガス供給タンク、30…ガス供給ライン、32…入口（マニホールド）、36…排気口、100…マニホールド、102…コネクタ、104…拡散プレート、106…インターフェイス、108、110…上下流体通路、112…穴、114、116…管路、118…石英リング、120、122…上下ガス通路、124…スロット、210…CVD堆積チャンバ、218…処理チャンバ、302、304…容器、303、305、316、320…マスフローコントローラ、306…インターフェイスコネクタ、308…中央ゾーン、310…外部ゾーン、311、312…ベロー調整バルブ、314…ストレージ。

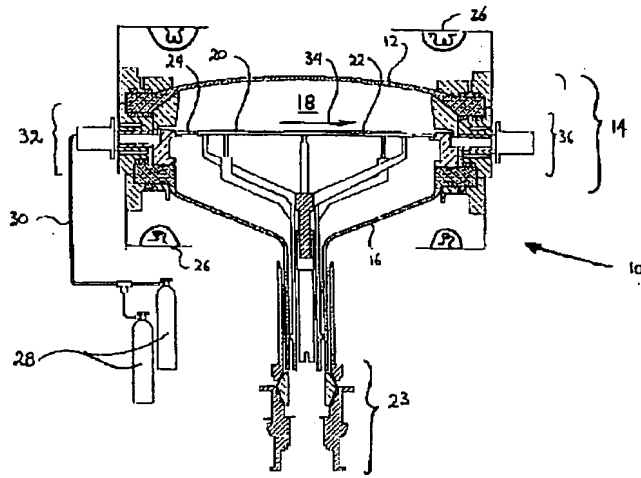
【図4】



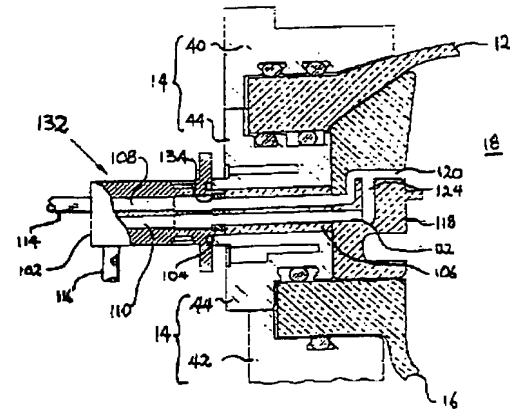
【図6】



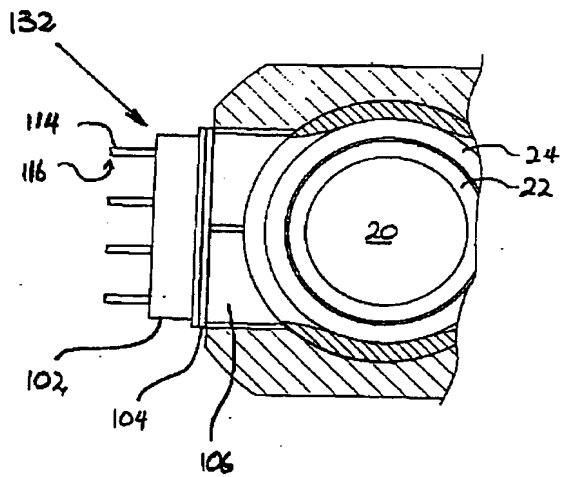
【図1】



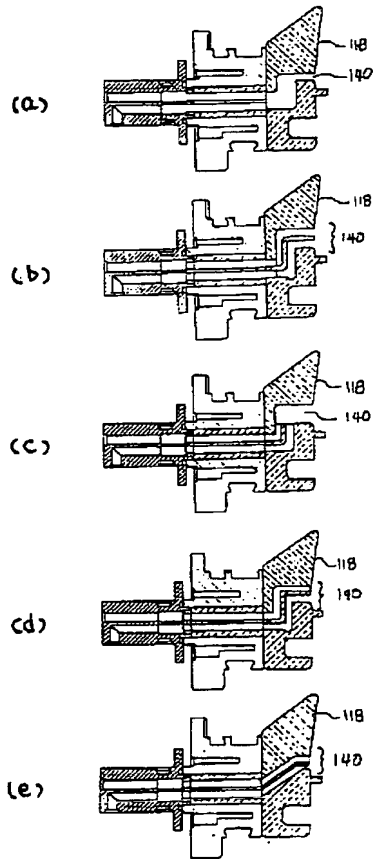
【図2】



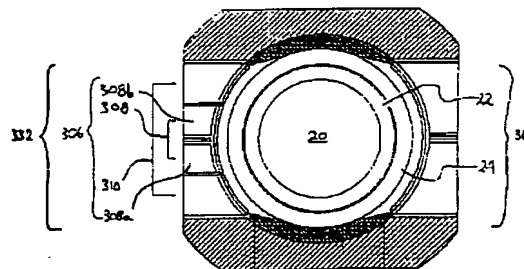
【図3】



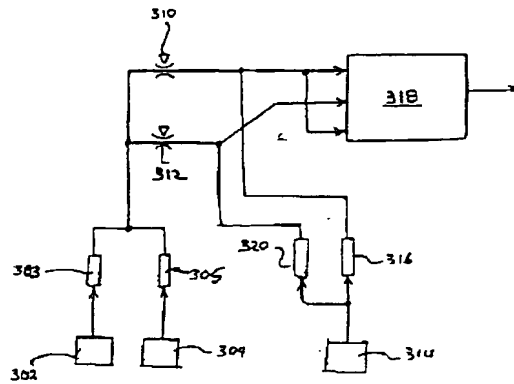
【図5】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 エイチ. ピーター ダブリュー. ヘイ
アメリカ合衆国, カリフォルニア州
95118, サン ノゼ, マイルトル ア
ヴェニュー 1483

(72)発明者 ディヴィッド ケイ. カールソン
アメリカ合衆国, カリフォルニア州
95051, サンタ クララ, ダンディー
ドライブ 2308

(72)発明者 マハリンガム ヴェンカテサン
アメリカ合衆国, カリフォルニア州
95130, サン ノゼ, パークウエスト
ドライブ 4749

(72)発明者 ノーマ リレイ
アメリカ合衆国, カリフォルニア州
94588, プレザントン, ウェスト ラ
ス ポジタス ブルヴァード 3710